

# 麸曲酱香型白酒酿造工艺研究及微量成分分析

## Research on brewing technology of bran sauce Baijiu and trace composition analysis

李明珠<sup>1</sup> 李渊杰<sup>2</sup> 侯笑林<sup>1</sup> 冯金晓<sup>1</sup>

LI Mingzhu<sup>1</sup> LI Yuanjie<sup>2</sup> HOU Xiaolin<sup>1</sup> FENG Jinxiao<sup>1</sup>

(1. 青岛工学院食品工程学院, 山东 青岛 266300; 2. 内蒙古醉火酒业有限公司, 内蒙古 赤峰 024231)

(1. College of Food Engineering, Qingdao Institute of Technology, Qingdao, Shandong 266300, China;

2. Inner Mongolia Zuihuo Wine Industry Co., Ltd., Chifeng, Inner Mongolia 024231, China)

**摘要:**目的:将麸曲替代部分大曲酿造酱香型白酒,研究其酿造工艺及产品特点。方法:以感官评分值和酒醅酒精含量为评价指标,通过单因素试验研究小麦添加量、酵母添加量和麸曲添加量对麸曲酱香型白酒品质的影响,利用响应面优化试验对麸曲酱香型白酒的酿造工艺进行优化,并利用液相色谱法对白酒的微量成分进行分析。结果:小麦添加量为投料量的 16.0%,高粱添加量为 79.0%,稻壳添加量为 5.0%,酵母添加量为 7.0%,麸曲添加量为 7.0%时,发酵成熟的酒醅中酒精含量为 5.96%,利用此工艺蒸馏出的麸曲酱香型白酒感官评分值为 72.1,贮存 6 个月后感官评分值为 86.3,白酒酒质丰富,酱香突出。结论:酿造工艺符合酱香型白酒发酵过程要求,产品具有典型酱香型白酒特征。

**关键词:**酱香型白酒;高寒地区;酒精含量;水分;酸度;还原糖;微量成分

**Abstract: Objective:** The brewing process and product characteristics of bran sauce Baijiu starters was studied by replacing part of Daqu with bran koji. **Methods:** Taking sensory score value and alcohol content of wine as evaluation indexes, the effects of wheat ratio, yeast addition and amount of bran koji addition on the quality of bran sauce Baijiu were studied by univariate experiment. The brewing process of bran sauce Baijiu was optimized by response surface optimization experiment, and the trace components of liquor were analyzed by liquid chromatography. **Results:** The ratio of wheat in feeding quantity was 16.0%, the addition amount of sorghum was 79.0%, the addition amount of rice husk was 5.0%, the addition amount of

yeast was 7.0%, and the addition amount of bran koji was 7.0%, the alcohol content in fermented grains was 5.96%. The sensory score of the bran sauce Baijiu distilled by this process was 72.1, and the sensory score was 86.3 after six months of aging. The wine has rich ingredients and outstanding sauce-flavor. **Conclusion:** The requirements of the fermentation process of sauce-flavored Baijiu, and the obtained product had typical characteristics of sauce-flavored Baijiu.

**Keywords:** bran sauce Baijiu; alpine region; alcohol content; moisture content; acidity; reducing sugar; contents of microconstituents

由于内蒙古地区气候干燥、温度偏低,因此环境中微生物种类和数量均受到不同程度的限制,北方高寒地区麸曲酱香型酒的酿造相对于南方酱香型白酒酿造有一定差距<sup>[1]</sup>。糖化发酵剂麸曲的生产控制温度远低于酱香型白酒的大曲,而且麸曲在通风池中培养,不需要建造专用的大曲堆积室,培养时间最长仅为一周甚至更短,可以在短时间内投入生产且不影响最终的品质。近年来,伴随着麸曲酱香型酒的研究、革新和发展,麸曲酱香型酒的酿造技术不断完善<sup>[2]</sup>,品质不断提高,酿造的麸曲酱香型白酒口感顺滑、醇厚、余味长、香味高雅<sup>[3]</sup>,受到消费者青睐。另外,麸曲酱香型酒由于麸曲的应用使得在相同原料配比的条件下生产成本相较于大曲酱香型白酒更低<sup>[4]</sup>,堆积和发酵的周期与大曲酱香型白酒相比较,发酵时间大大缩短<sup>[5]</sup>,发酵温度相对较低,发酵贮存周期较短,可以快速生产,保证低成本的同时还能保证质量,因此麸曲酱香型白酒的酿造受到北方酿酒企业的追捧<sup>[6]</sup>。目前关于内蒙古地区麸曲酱香型酒的研究还未有报道。

采用堆积发酵技术酿造的麸曲酱香型白酒,必须严格控制好堆积发酵的各项参数,其中在酿造过程中的原料配比、酵母添加、麸曲添加以及发酵温度对产品质量有

**基金项目:**山东省高等学校科技计划项目(编号:J18KB078);青岛工学院科研计划项目(编号:2021KYJH002)

**作者简介:**李明珠(1987—),男,青岛工学院副教授,硕士。

E-mail: limingzhu@qit.edu.cn

**收稿日期:**2022-12-19 **改回日期:**2023-04-23

着密切关系<sup>[7]</sup>。研究拟对原料中小麦和高粱配比、酵母和麸曲的用量对出酒率 and 产品感官品质的影响进行探索优化,确定发酵工艺流程,并对发酵规律和酒质成分进行分析研究,以期为内蒙古地区麸曲酱香型白酒产品的开发提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

高粱:产地赤峰敖汉旗林东镇;  
小麦:产地山东省滨州市;  
稻壳:产地辽宁省盘锦市;  
麸皮:产地山东省德州市;  
曲霉及酵母:内蒙古醉火酒业有限公司。

### 1.2 仪器与设备

高压蒸汽灭菌锅:XFH-150CA 型,浙江新丰医疗器械有限公司;  
超净工作台:VD-650 型,上海力辰科技有限公司;  
分析天平:HNB-1004N 型,厦门森倍科技有限公司;  
恒温水浴锅:DZ-75L 型,上海赫田科学仪器有限公司;  
恒温培养箱:LHP-250 型,上海赫田科学仪器有限公司;  
气相色谱仪:SP-6801A 型,山东鲁南瑞虹化工仪器有限公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 麸曲曲种制备 将麸皮、玉米面、小麦粉、谷面和稻壳混合,加入无菌蒸馏水,常压蒸熟。将蒸好的原料放入锥形瓶中,各瓶材料应覆盖瓶底,进行高压蒸汽灭菌,取出后冷却至室温。将锥形瓶移至无菌室内接种黑曲霉,35℃恒温培养 3 d,每天摇瓶 2 次,待菌丝布满锥形瓶后 40℃风干,保存备用<sup>[8]</sup>。

#### 1.3.2 麸曲酱香型白酒酿造

(1) 工艺流程:

原料→粉碎→配料→润料、蒸料→扬冷→加曲→加酒母→加水→堆积→入窖发酵<sup>[9]</sup>

(2) 操作要点:采用老五甑操作工艺,将高粱用对辊式粉碎机研磨成四六瓣增加高粱颗粒表面积;根据发酵池大小和甑桶大小将蒸熟凉冷的稻壳、发酵成熟的酒醅和高粱粉、小麦粉按比例混合,上甑,用 0.03 MPa 蒸汽进行蒸馏和糊化,粮食达到熟而不粘,内无生心。出甑用扬渣机摊凉,热水泼浆,按比例加入酵母和麸曲。酒糟淀粉含量控制在 14%~16%,先在温度不低于 30℃条件下堆积发酵 48 h,然后入池发酵,控制入池温度为 31~33℃,窖池发酵周期 41 d。

#### 1.3.3 麸曲酱香型白酒酿造单因素试验

(1) 小麦添加量对麸曲酱香型酒品质的影响:以发酵

成熟酒醅中的酒精含量、蒸馏后新酒的感官评分值、贮存 6 个月后麸曲酱香型白酒的感官评分值为评价指标,固定酵母添加量为 6.0%,麸曲添加量为 6.0%,考察投料中高粱:小麦:稻壳的添加配比(70%:25%:5%,75%:20%:5%,80%:15%:5%,85%:10%:5%,90%:5%:5%,即小麦添加量为 25%,20%,15%,10%,5%)对麸曲酱香型酒品质的影响。

(2) 酵母添加量对麸曲酱香白酒品质的影响:固定小麦添加量为 15.0%,麸曲添加量为 6.0%,考察酵母添加量(5.0%,6.0%,7.0%,8.0%,9.0%;以投料量为基础)对麸曲酱香白酒品质的影响。

(3) 麸曲添加量对麸曲酱香白酒品质的影响:固定小麦添加量为 15.0%,酵母添加量为 6.0%,考察麸曲添加量(4.0%,5.0%,6.0%,7.0%,8.0%;以投料量为基础)对麸曲酱香白酒品质的影响。

1.3.4 麸曲酱香型白酒酿造响应面优化试验 依据单因素试验结果,利用 Design-Expert V7.0 软件 Box-Behnken 中心组合试验设计,对麸曲酱香型白酒酿造工艺进行优化,确定麸曲酱香型白酒最优酿造工艺。

#### 1.3.5 发酵过程中各成分测定

(1) 酒精含量:根据文献<sup>[10]</sup>。

(2) 水分、酸度、还原糖:根据文献<sup>[11]</sup>。

1.3.6 感官品评标准 对新蒸馏出的麸曲酱香型白酒和贮存 6 个月后的麸曲酱香型白酒依据 GB/T 33405—2016《白酒感官品评术语》和 GB/T 26760—2011《酱香型白酒》从色泽和外观、香气、口味和风格 4 个方面进行感官评价,产品应该具有酱香型白酒的典型风格,酒体协调,醇甜有余香,空杯留香较好。

1.3.7 挥发性风味成分分析 根据文献<sup>[12]</sup>。

1.3.8 数据处理 采用 Design-Expert V7.0 软件进行优化试验设计及数据分析, $P<0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 麸曲酱香型白酒发酵工艺优化单因素试验

2.1.1 小麦添加量对麸曲酱香型酒品质的影响 由图 1 可知,小麦占原料比例对成品酒的感官和酒精含量均产生了较大影响,当小麦添加量为 15% 时进行发酵,发酵后酒醅的酒精含量较高,可大大提高后续蒸馏时所产出的原酒的酒精含量,提高原酒的产量;蒸馏得到的新酒和贮存 6 个月后成品酒的感官评分值也比较高,完全可以作为企业留存酒使用。麸曲酱香型酒的发酵周期比大曲酱香型酒周期短,但在短的发 酵周期内形成丰富的呈香呈味物质,仅单一原料高粱是无法实现的,通过在原料中添加适量的小麦,因小麦中含有大量淀粉和粗蛋白,微生物分解小麦中的蛋白产生芳香的前体物质,可以有效提高成酒品质<sup>[13-14]</sup>。因此,小麦的适宜添加量为 10%~20%。

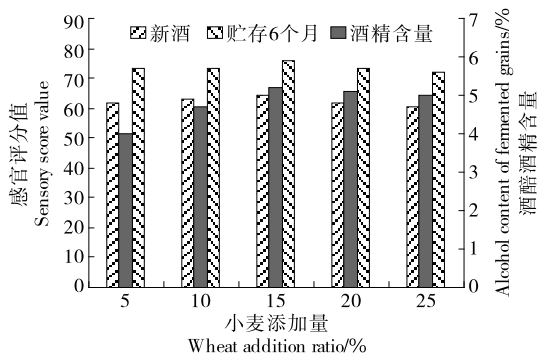


图1 小麦添加量对麸曲酱香型白酒品质的影响

Figure 1 Effects of wheat addition ratio on the quality of bran sauce Baijiu

2.1.2 酵母添加量对麸曲酱香型白酒品质的影响 由图2可知,当酵母添加量为7%时,发酵结束后酒醅中的酒精含量达到5.4%左右,此时新酒的感官评分和贮存6个月的感官评分也比较高。酵母的添加以及酵母的发酵能力对白酒的风味有非常重要的影响,添加的酵母量能够达到最佳转化率且不浪费待发酵酒醅中的糖为佳,如果添加量过多会导致生产成本增加,且在发酵达到一定程度时,酒精含量的增加会抑制酵母继续发酵,并不利于生产<sup>[15-16]</sup>。由此,考虑到节约成本,促进大规模生产投入,酵母的适宜添加量为6%~8%。

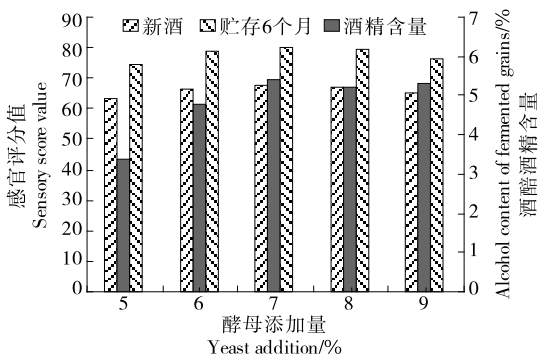


图2 酵母添加量对麸曲酱香型白酒品质的影响

Figure 2 Effects of yeast addition on the quality of bran sauce Baijiu

2.1.3 麸曲添加量对麸曲酱香型白酒品质的影响 由图3可知,随着麸曲添加量的增加发酵成熟酒醅中的酒精含量有上升的趋势,当麸曲添加量为7%时,发酵结束后酒醅中的酒精含量达到最高,此添加量得到的新酒感官评分和贮存6个月的感官评分均比较高。麸曲的添加量是麸曲酱香型白酒酿造过程的重要一部分。麸曲的添加量太少,会影响酒的最终发酵,从而影响酒中的酒精含量<sup>[17]</sup>。由此,为了提高麸曲的利用率并考虑到节约成本,麸曲的适宜添加量为6%~8%。

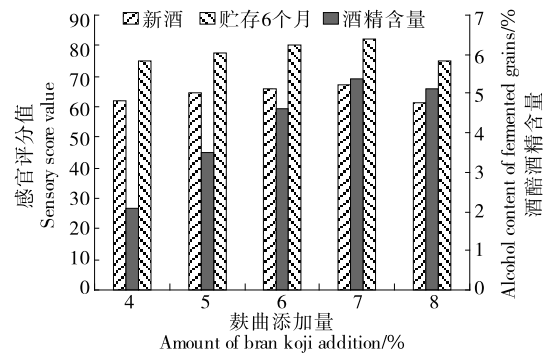


图3 麸曲添加量对麸曲酱香型白酒品质的影响

Figure 3 Effects of amount of bran koji addition on the quality of bran sauce Baijiu

2.2 麸曲酱香型白酒酿造响应面优化试验

在单因素试验的基础上,采用 Box-Behnken 中心组合试验设计,对麸曲酱香型白酒酿造工艺进行优化,响应面试验因素与水平设计见表1,Box-Behnken 试验设计与结果见表2,以发酵成熟酒醅中的酒精含量为响应值(Y),应用 Design-Expert V7.0 软件进行多元回归拟合分析,得到多元二次回归方程:

$$Y = 5.94 + 0.30A + 0.18B + 0.050C - 0.15AB - 0.15AC + 0.10BC - 0.60A^2 - 0.50B^2 - 0.34C^2 \quad (1)$$

由表3可知,小麦添加量和酵母添加量的一次项和二次项均达到了显著水平以上,模型的P值为0.0003,具有明显差异性,表明该二次方程模型达到极显著水平,并且失拟项值为0.1450,不显著,说明该方程拟合度较好,可以利用该方程确定产酒精能力最大的酿造工艺。根据回归方程,作出响应面图和等高线图,方程的交互项AB、AC和BC均P>0.05,交互项对酒精含量的影响不显著,结果见图4~图6。

通过软件 Design-Expert 7.0 求解多元二次回归方程,得到酒精含量最高的酿造工艺为:小麦添加量16.17%,酵母添加量7.14%,麸曲添加量7.00%,此时发酵成熟的酒醅中酒精含量为5.9875%。考虑到实际操作的可行性,按小麦添加量16.0%,酵母添加量7.0%,麸曲添加量7.0%进行验证实验,此时发酵成熟的酒醅中酒精含量为5.96%,与预测值较接近,利用此工艺蒸馏出的麸曲酱香型白酒感官评分值为72.1,贮存6个月后感官评分值为86.3。

表1 响应面试验优化因素与水平

Table 1 Factors and levels of response surface experiments

水平	A 小麦添加量/%	B 酵母添加量/%	C 麸曲添加量/%
-1	10	6.0	6.0
0	15	7.0	7.0
1	20	8.0	8.0

表 2 响应面分析试验方案与结果

Table 2 Experimental scheme and results of response surface analysis

序号	A	B	C	酒精含量/%
1	-1	0	-1	4.6
2	0	-1	1	4.8
3	0	0	0	5.9
4	1	1	0	5.2
5	0	0	0	5.9
6	0	0	0	5.8
7	-1	0	1	5.0
8	1	0	-1	5.3
9	0	0	0	6.0
10	1	0	1	5.1
11	-1	1	0	4.7
12	-1	-1	0	4.2
13	0	1	1	5.5
14	1	-1	0	5.3
15	0	1	-1	5.2
16	0	-1	-1	4.9
17	0	0	0	6.1

表 3 回归方程各项的方差分析

Table 3 Analysis of variance of regression equation terms

来源	平方和	自由度	均方	F 值	Prob>F	显著性
模型	4.56	9	0.51	20.05	0.000 3	高度显著
A	0.72	1	0.72	28.47	0.001 1	显著
B	0.25	1	0.25	9.69	0.017 0	显著
C	0.02	1	0.02	0.79	0.403 3	
AB	0.09	1	0.09	3.56	0.101 2	
AC	0.09	1	0.09	3.56	0.101 2	
BC	0.04	1	0.04	1.58	0.248 8	
A <sup>2</sup>	1.49	1	1.49	58.95	0.000 1	高度显著
B <sup>2</sup>	1.03	1	1.03	40.80	0.000 4	高度显著
C <sup>2</sup>	0.50	1	0.50	19.82	0.003 0	显著
残差	0.18	7	0.03			
失拟项	0.12	3	0.04	3.21	0.145 0	不显著
纯误差	0.05	4	0.01			
总差	4.74	16				

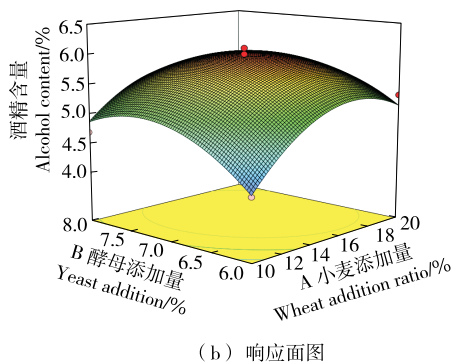
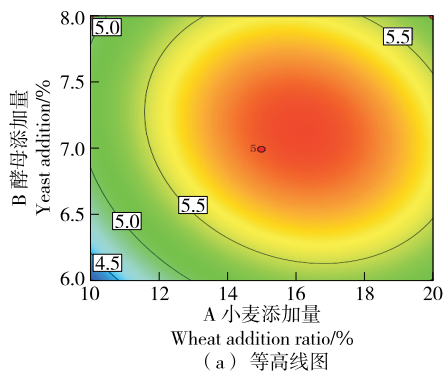


图 4 响应面法(小麦添加量、酵母添加量)等高线和响应面图

Figure 4 Contour line and three-dimensional analysis diagram of response surface method (wheat addition ratio, yeast addition)

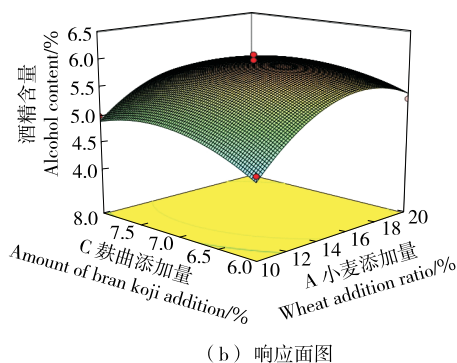
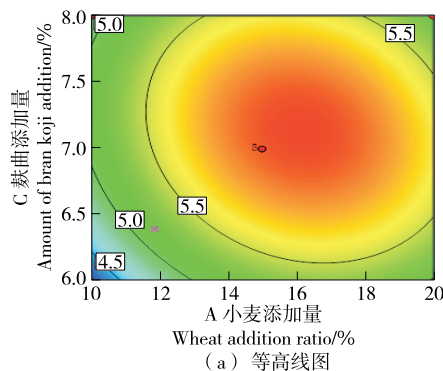


图 5 响应面法(小麦添加量、麸曲添加量)等高线和响应面图

Figure 5 Contour line and three-dimensional analysis diagram of response surface method (wheat addition ratio, amount of bran koji addition)

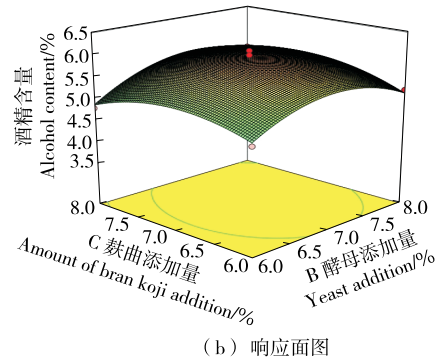
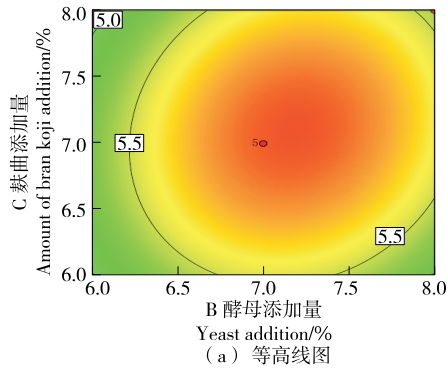


图 6 响应面法(麸曲添加量、酵母添加量)等高线和响应面图

Figure 6 Contour line and stereo analysis diagram of response surface method (amount of bran koji addition, yeast addition amount)

2.3 发酵过程中各成分变化规律

2.3.1 酒醅中酒精含量变化规律 由图 7 可知,发酵初期,酒精含量随发酵时间快速上升。发酵初期由于酒醅中存在较多的还原糖,入池后有利于酵母和真菌的生长和繁殖,大量的酵母和真菌利用无氧呼吸的方式将还原糖转换成酒精,从而使酒精含量迅速上升<sup>[18]</sup>。但发酵 29 d 以后,由于酒精含量的增加,酵母的无氧呼吸受到了限制,酒精产生的速度变得较慢。发酵过程中酒精含量的变化符合酱香型白酒发酵过程“前缓中挺后缓落”的酒精含量变化特征。

2.3.2 麸曲酱香型白酒发酵过程中水分的变化 由图 8 可知,发酵初期水分含量上升速度快,至第 29 天,含水量达到最大值为 58.4%,而后则逐渐稳定。发酵过程中,水分的变化体现了酵母菌和霉菌的糖化能力,水分含量的升高说明酵母菌进行有氧呼吸的能力和繁殖能力强<sup>[19-20]</sup>,由于酵母菌持续地将还原糖转换成酒精,使其含水量逐渐增大,最终达到稳定状态。由此,发酵过程中水分变化呈先增加后逐渐平缓,符合酱香型白酒发酵过程的要求。

2.3.3 麸曲酱香型白酒发酵过程中酸度的变化 由图 9

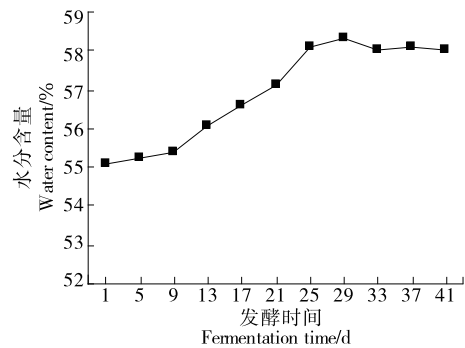


图 8 麸曲酱香型白酒发酵过程中水分的变化

Figure 8 Changes of water content during fermentation of bran sauce Baijiu

可知,发酵前 25 d,酒醅中的酸度不断增大,发酵第 25 天,酒醅中的酸度变化逐渐减少,波动幅度趋于平缓。在麸曲酱香型酒的发酵过程中,发酵过程中酒香的产生也离不开酸类物质的作用。另外,酸类物质作为生成酯类物质的前驱物质与醇类、酯类处于同样重要的地位<sup>[21]</sup>。随着发酵过程的进行酒醅中的酸类物质不断生成,从而影响了酒醅中的酸度。由此,发酵过程中酸度变化符合酱香型白酒发酵过程特点。

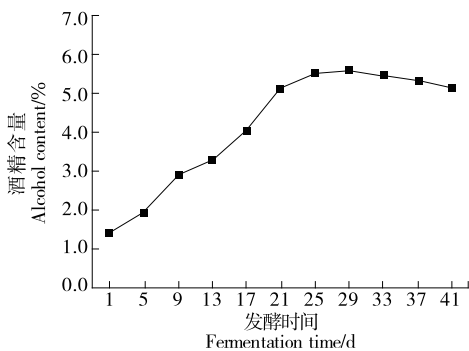


图 7 麸曲酱香型白酒发酵过程中酒精含量的变化

Figure 7 Changes of alcohol content during fermentation of bran sauce Baijiu

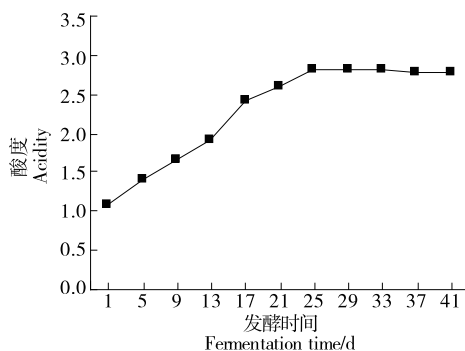


图 9 麸曲酱香型白酒发酵过程中酸度的变化

Figure 9 Changes in acidity during fermentation of bran sauce Baijiu

2.3.4 麸曲酱香型白酒发酵过程中还原糖的变化 由图 10 可知,发酵前 5 d 还原糖含量随发酵时间的延长而增加,随后快速下降。在入窖的前几天,由于麸曲中酶活较高,将大分子淀粉分解为可发酵性糖,还原糖含量迅速上升,随着发酵的进行,酸度增加,还原糖含量开始逐渐降落,随后保持动态平衡。由此,发酵过程中还原糖含量变化符合酱香型白酒发酵过程有机物分解转化规律。

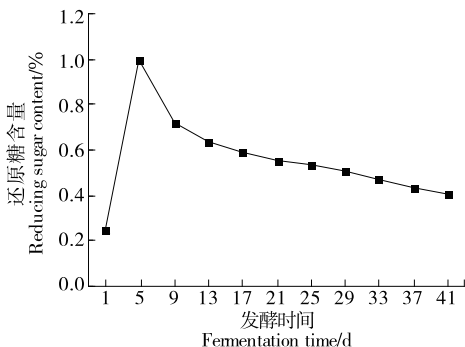


图 10 麸曲酱香型白酒发酵过程中还原糖的变化

Figure 10 Changes in reducing sugar during fermentation of bran sauce Baijiu

### 2.4 最佳工艺条件下麸曲酱香型白酒的微量成分分析

由图 11 和表 4 可知,麸曲酱香型酒样品中丙醇、乙醛和乙缩醛含量比例适中,乙酸、乙酸乙酯和乳酸乙酯含量较高,依据 GB/T 26760—2011《酱香型白酒》标准,该酒样品品质达到酱香型高度白酒一级[高度酱香型白酒一级理化指标为总酸(以乙酸计)≥1.40 g/L,总酯(以乙酸乙酯计)≥2.00 g/L]。

## 3 结论

经过单因素试验和响应面优化试验得到麸曲酱香型酒的最优酿造工艺为小麦添加量 16.0%,酵母添加量 7.0%,麸曲添加量 7.0%,发酵成熟的酒醅中酒精含量为 5.96%,利用此工艺蒸馏出的麸曲酱香型白酒感官评分值为 72.1,贮存 6 个月后感官评分值为 86.3。最优工艺条件下酿造的麸曲酱香型酒,乙酸、乙酸乙酯和乳酸乙酯含量较高,结合感官评价,该工艺酿造的麸曲酱香型白酒具有典型酱香型白酒特征,酒样品品质达到酱香型高度白酒

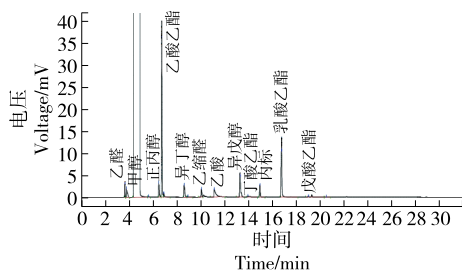


图 11 麸曲酱香型白酒样品色谱图

Figure 11 Chromatogram of bran sauce Baijiu sample

表 4 麸曲酱香型白酒酒样微量成分色谱分析结果

Table 4 Chromatographic analysis results of trace components in bran sauce Baijiu samples

峰号	峰名	保留时间/min	峰高	峰面积	含量/(g·L <sup>-1</sup> )
1	乙醛	3.662	2 564.210	4 908.874	0.165 0
2	甲醇	3.813	1 964.158	10 420.658	0.572 0
3	正丙醇	6.508	3 043.706	11 087.265	0.217 2
4	乙酸乙酯	6.765	38 144.410	130 660.547	4.122 8
5	异丁醇	8.632	2 632.543	15 408.020	0.243 6
6	乙缩醛	10.078	1 616.667	7 665.900	0.712 0
7	乙酸	11.152	1 723.264	21 249.199	6.987 2
8	异戊醇	13.322	5 184.226	27 971.000	0.450 6
9	丁酸乙酯	13.975	205.436	3 080.900	0.052 7
10	内标	14.978	2 355.727	11 657.700	0.000 0
11	乳酸乙酯	16.798	12 229.063	60 644.801	1.999 6
12	戊酸乙酯	19.038	167.152	4 132.900	0.097 3
总计			825 697.535	18 168 219.968	15.619 9

一级。由于在制曲和发酵过程中,多种微生物的参与,白酒积累了大量的代谢产物如酱香精、酪醇等具有特殊酱香的呈香呈味物质和前体物质,赋予白酒丰富的香气,后续可对内蒙古地区酿酒微生物及其作用机理作进一步研究。

### 参考文献

[1] 王旭亮, 张五九, 王德良, 等. 中国三大香型白酒典型产区气候环境特性研究[J]. 酿酒科技, 2019(3): 44-51.  
WANG H L, ZHANG W J, WANG D L, et al. Climate & environment characteristics of typical producing areas of Baijiu of three main flavor types[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2019(3): 44-51.

[2] 张健, 范奇高, 陆伦维, 等. 浅析酱香型白酒发展现状及趋势思考[J]. 中国酿造, 2022, 41(4): 234-238.  
ZHANG J, FAN Q G, LU L W, et al. The scavenging effect of flavonoides on superoxide radicals with fluorimetry [J]. Food Research and Development, 2022, 41(4): 234-238.

[3] 戴奕杰, 李宗军, 田志强. 酱香型白酒大曲和糟醅的细菌多样性分析[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 152-159.  
DAI Y J, LI Z J, TIAN Z Q. Analysis of bacterial diversity in Daqu and fermented grains for maotai-flavor liquor[J]. Food Science, 2019, 40(4): 152-159.

[4] 周秋爽. 应用混合曲生产酱香型白酒液态发酵的工艺优化及理化性质研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020: 4-8.  
ZHOU Q S. Optimization of liquid fermentation process and study on physicochemical properties of maotai-flavor liquor produced by mixed koji[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020:

- 4-8.
- [5] 袁再顺, 胡萍, 陈乾, 等. 破堆移位解决酱香酒冬季堆积发酵异常研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 14-19.  
YUAN Z S, HU P, CHEN Q, et al. Study on the abnormality among accumulation and fermentation of Maotai-flavor liquor in winter by turning and translocation stacking[J]. Food & Machinery, 2019, 35(4): 14-19.
- [6] 王贵玉. 中华酒魂: 谈中国酿酒技艺传承和创新展(下)[J]. 酿酒, 2022, 49(1): 2-4, 11.  
WANG G Y. Spirit of chinese liquor-Talking about the inheritance and innovative development of Chinese liquor making techniques (part 2) [J]. Liquor Making, 2022, 49(1): 2-4, 11.
- [7] 许玲. 国井绵雅酱香型白酒工艺研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2019: 1-3.  
XU L. Study on technology of GuoJing Mianya maotai-flavor Baijiu[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2019: 1-3.
- [8] 杜鑫, 李静雯, 许译文, 等. 贵州麸曲酱香型白酒采用菌种及制曲工艺特点[J]. 酿酒, 2019, 46(4): 45-47.  
DU X, LI J W, XU Y W, et al. The strains used in Guizhou bran koji maotai-flavor liquor making and characters of the koji making process[J]. Liquor Making, 2019, 46(4): 45-47.
- [9] 张杰, 程伟, 彭兵, 等. 一种多粮复合香型白酒的酿造工艺研究[J]. 酿酒, 2020, 47(3): 39-43.  
ZHANG J, CHENG W, PENG B, et al. Research on brewing techniques about a kinds of multi-grain composite flavor liquors[J]. Liquor Making, 2020, 47(3): 39-43.
- [10] 国家卫生和计划生育委员会. 酒中乙醇浓度的测定: GB 5009.225—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.  
The National Health and Family Planning Commission. Determination of ethanol concentration in alcohol: GB 5009.225—2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.
- [11] 安徽省浓香型白酒标准化技术委员会. 固态发酵酒醅分析方法: DB34/T 2264—2014[S]. 合肥: 安徽省质量技术监督局, 2014.  
Anhui Nongxiangxing Baijiu Standardization Technical Committee. The analysis method of Solid-state fermented grains: DB34/T 2264—2014[S]. Hefei: Anhui Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision, 2014.
- [12] 国家标准化管理委员会. 白酒分析方法: GB/T 10345—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.  
Standardization Administration. Analytical methods of Baijiu: GB/T 10345—2007[S]. Beijing: China Standards Press, 2017.
- [13] 王艳晓, 张雯雯. 气相色谱法在白酒检测中的应用[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(8): 121, 125.  
WANG Y X, ZHANG W W. Application of gas chromatography in liquor detection[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2020, 46(8): 121, 125.
- [14] 黄瑜, 杨帆, 李江华, 等. 小麦原料微生物组成对高温大曲风味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(20): 22-29.  
HAUNG Y, YANG F, LI J H, et al. Effect of microbial composition in wheat raw material on the flavor of high-temperature Daqu[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(20): 22-29.
- [15] 宋哲玮, 杜海, 聂尧, 等. 酱香型白酒发酵过程中核心酵母的鉴别及其功能[J]. 微生物学通报, 2020, 47(11): 3 504-3 514.  
SONG Z W, DU H, NIE Y, et al. Identification of core yeasts and their functions in the fermentation process of Maotai-flavor Baijiu [J]. Microbiology, 2020, 47(11): 3 504-3 514.
- [16] DING Y Q, ZHOU L B, WANG C, et al. Research advance in glutinous sorghum for making sauce-flavor liquor in China [J]. Biotechnology Bulletin, 2019, 35(5): 28-34.
- [17] 孙炜方. 麸曲酱香白酒生产工艺及堆积发酵对风味物质影响的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019: 13-20.  
SUN W F. Production process of branmaotai-flavor liquor and influence of accumulation fermentation on flavor substances [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019: 13-20.
- [18] 张春林, 杨亮, 李喆, 等. 酱香型白酒二轮次堆积酒醅微生物群落与理化指标相关性研究[J]. 中国酿造, 2021, 40(11): 31-36.  
ZHANG C L, YANG L, LI Z, et al. Correlation between microbial community and physicochemical indexes in fermented grains of stacking fermentation process of the second rounds sauce-flavor Baijiu[J]. China Brewing, 2021, 40(11): 31-36.
- [19] 王邦坤, 张维山. 北方大曲酱香酒云门陈酿高温堆积发酵工艺探讨[J]. 酿酒, 2019, 46(3): 40-42.  
WANG B K, ZHANG W S. Research on the high temperature stacking fermentation technology applied in the production process of northmaotai-flavor Daqu Yunmen aging liquor [J]. Liquor Making, 2019, 46(3): 40-42.
- [20] 杨萍, 胡萍, 樊敏, 等. 酱香型酒曲及窖内酒醅挥发性成分的分析[J]. 中国酿造, 2018, 37(11): 166-171.  
YANG P, HU P, FAN M, et al. Analysis of the volatile components from Jiuqu and fermented grains in the pits of the sauce-flavor Baijiu[J]. China Brewing, 2018, 37(11): 166-171.
- [21] 吴再节, 常强, 李新民, 等. 酿造酒醅生化产物分布研究[J]. 酿酒科技, 2017(11): 57-60.  
WU Z J, CHANG Q, LI X M, et al. Distribution of biochemical products in fermented grains [J]. Liquor-Making Science and Technology, 2017(11): 57-60.